MicroLEIS.com

Explorando los límites agro-ecológicos de sostenibilidad

Módulo Eng&Tec

Predicción Tecnológica y de Ingeniería

Modelo Aljarafe
Plasticidad y manejabilidad del suelo

D. de la Rosa, F. Mayol, E. Díaz-Pereira

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC, Avda. Reina Mercedes 10,

41012 Sevilla, España

Julio 2003

---

*Este informe constituye la documentación científica y técnica sobre el software **Aljarafe** del Sistema **MicroLEIS** (www.microleis.com/software).*

Contenido

1. Introducción

2. Descripción científica

2.1. Escenario de desarrollo
2.2. Calibración del modelo
2.3. Definición de clases
2.4. Análisis de validación

3. **Aplicación del modelo: Manual de usuario**

3.1. Versión PC y SDBm
3.1.1. Instalación
3.1.2. Modo individual
3.1.3. Conexión a SDBmPlus
3.1.4. Cambio de idioma
3.1.5. Ayuda
3.2. Aplicación basada en la Web
3.3. Espacialización basada en SIG

Bibliografía

1. Introducción

Dentro del contexto global de **MicroLEIS**, las evaluaciones tecnológicas o de ingeniería hacen referencia a la predicción de las propiedades mecánicas o geotécnicas de los suelos. Estos tipos de evaluaciones se vienen incrementando últimamente, a partir de los datos de reconocimiento sistemático de los recursos edáficos, muy especialmente en la predicción de la compactación, plasticidad, manejabilidad y expansión-retracción del suelo.

Los parámetros geotécnicos, los cuales son criterios de diagnósticos en las evaluaciones de ingeniería, no se proporcionan usualmente mediante el reconocimiento edafológico del suelo. Tal vez, porque la determinación analítica de estos parámetros geotécnicos es difícil, consume tiempo, y presenta dificultades prácticas considerables. Los suelos se clasifican según: plasticidad, compactación y estado hídrico en los sistemas usados con más frecuencia, con propósitos de ingeniería, tales como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo, desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (USDD, 1968) y el Sistema de Clasificación Oficial de Carreteras del Estado, de la Asociación Americana (AASHO, 1961). Las propiedades del suelo más ampliamente usadas en las evaluaciones geotécnicas son: límites líquido y plástico, índice de plasticidad, densidad máxima, humedad óptima y retención de agua.

El potencial de expansión-retracción es otro aspecto significativo de las evaluaciones geotécnicas, el cual determina el cambio de volumen del suelo en función del cambio en contenido de humedad. El cambio en el volumen del suelo está influido por el cambio de humedad y la cantidad y tipo de arcilla. El coeficiente de extensibilidad linear (COLE) y el cambio de volumen potencial (PVC) se usan para determinar el comportamiento de expansión- retracción del suelo.

Estas evaluaciones de ingeniería del suelo pueden ser útiles a personal comprometido en planificación, construcción y mantenimiento de proyectos de obra civil, así como en el manejo agrícola. Sin embargo, es necesario señalar a los posibles usuarios las limitaciones de estas prediciones y las precauciones necesarias, ya que la investigación detallada sobre el lugar es también necesaria para verificar los datos pronosticados, e incluso, en algunos casos, será necesario el calculo de otras

determinaciones adicionales. Otro aspecto importante es la profundidad apropiada de muestreo del suelo, considerando la variabilidad vertical del perfil de suelo estudiado.

A través del modelo ***Aljarafe*** de **MicroLEIS**, se hace una tentativa para predecir ciertas propiedades de ingeniería del suelo mediante el estudio de la relación entre estas propiedades y otras más fácilmente disponibles que suministran los reconocimientos estándar del suelo. Se desarrollaron para establecer estas relaciones modelos de regresión estadística, con formulación y calibración adecuadas (De la Rosa, 1979) y análisis de validación en suelos mediterráneos (De la Rosa et al., 1983). También, se desarrollaron programas de ordenador para automatizar la aplicación de estos modelos y para su integración en bases de datos de atributos geo-referenciados y SIG.

2. Descripción científica

El modelo ***Aljarafe*** pronostica ciertas cualidades de ingeniería del suelo, como un sistema cuantitativo de evaluación, haciendo uso de técnicas estadísticas de regresión múltiple (De la Rosa, 1979). Representa una primera aproximación para predecir el índice de plasticidad y la humedad óptima basada en un amplio espectro informativo de suelos del estado de Florida (EE.UU.).

El *índice de platicidad* se basa en los trabajos de Atterberg y se define como el rango de agua en el cual un suelo pone de manifiesto su comportamiento plástico, y se calcula por diferencia entre el límite líquido menos el límite plástico. Si se añade agua a un suelo seco, conteniendo al menos algo de arcilla y limo, este suelo se vuelve plástico. El contenido de humedad al cual el suelo se vuelve plástico corresponde al límite plástico. Si se añade más agua, el suelo se vuelve fluido. El contenido de humedad al cual el suelo cambia de plástico a un estado fluido es el límite líquido (Yong and Warkentin, 1966).

A su vez, la densidad a la cual un suelo dado puede ser compactado varía con el contenido de agua y la fuerza de compactación. El test de compactación, a veces llamado test Proctor, se desarrolló para establecer la relación entre la densidad de un suelo, contenido de agua y fuerza de compactación. Si el material del suelo se compacta sucesivamente a contenidos de humedad más altos, suponiendo que el esfuerzo de compactación permanece constante, la densidad del suelo se incrementa hasta que se alcance el contenido de *humedad óptima*. Después de ello, la densidad desciende con el incremento en contenido de humedad (Felt, 1950).

La *manejabilidad del suelo* (“tempero”) se define como el contenido óptimo de humedad del suelo para el que las labores agrícolas producen la mayor proporción de pequeños agregados. Si el suelo se labra cuando se encuentra más húmedo de ese óptimo, se producen grandes agregados dañándose su estructura. A su vez, si el suelo se encuentra más seco de ese óptimo, se precisará mayor fuerza para la labor y también se producirán grandes agregados (Rounsevell and Jones, 1993; Dexter and Bird, 2001). Diferentes autores (Wagner et al., 1992; Mueller et al., 2003) han encontrado que el mayor efecto desagregador de las labores agrícolas se produce cuando el contenido de humedad del suelo se corresponde con la humedad óptima del Proctor test. Por consiguiente, se considera que el contenido de humedad de un suelo para una

manejabilidad óptima equivale al óptimo de humedad para la densidad máxima Proctor. Aunque este límite de humedad puede ser ligeramente diferente para cada tipo de implemento (Bhushan and Ghildyal, 1972), se puede hablar de un valor medio para todas las labores típicas en cada suelo.

2.1. Escenario de desarrollo

El escenario de calibración del modelo ***Aljarafe*** representa un espectro amplio de los suelos de Florida, los cuales se caracterizaron como parte del Programa de Reconocimiento de Suelos de Florida a través de las actividades de investigación de las Estaciones Experimentales Agrícolas de Florida (Calhoun et al., 1974). Se emplearon 54 muestras de suelo de horizontes subsuperficiales que corresponden a 38 Series de suelo. Estas Series de suelos se clasificaron en 4 órdenes: Alfisoles, Entisoles, Espodosoles y Ultisoles, tal y como se definen en el sistema Soil Taxonomy (1975).

A partir de estas muestras de suelo, tanto las características edafológicas o variables de entrada del modelo: contenido de arcilla, capacidad de cambio catiónico y materia orgánica, como las cualidades mecánicas o variables de salida: índice de plasticidad y humedad óptima, se determinaron mediante los siguientes procedimientos analíticos.

El contenido de arcilla se determinó por el método del hidrómetro. La capacidad de intercambio catiónico se midió por saturación de NH^{+}_{4}, desplazamiento y valoración del NH_3 recogido en ácido bórico. El contenido de materia orgánica se determinó multiplicando el porcentaje de carbono orgánico por el factor de conversión 1,72. El C orgánico se midió por el método Nº. 6Ala (Soil Survey Staff, 1972 de digestión del dicromato en medio ácido.

El límite plástico y el límite líquido se determinaron por los métodos Nº D423 y Nº and D424 (American Society for Testing and Materials, 1970), respectivamente. Por último, el contenido en humedad óptima se basó en el método 57-T99 de AASHO (AASHO, 1961).

2.2. Calibración del modelo

Las propiedades de ingeniería del suelo que se trata de predecir, se relacionaron con las características edafológicas mediante un modelo estadístico del tipo :

$$Y = b_0 + \sum_{1 < i < n} b_i X_j + \sum_{1 < i < j < n} b_{ij} X_i X_j$$

donde, Y representa tanto el índice de plasticidad predicho (Y_1), como la humedad óptima (Y_2), y los valores b corresponden al término independiente y a los coeficientes parciales de las variables independientes: contenido de arcilla (X_1), capacidad de intercambio catiónico (X_2), y contenido en materia orgánica (X_3), así como sus interacciones de segundo y tercer orden.

La calibración de estos modelos polinomiales se realizó estadísticamente como un caso particular de regresión múltiple, a partir de la información generada en el escenario de desarrollo. Los análisis de regresión múltiple paso a paso y de correlación simple se realizaron usando el Sistema de Análisis Estadístico (SAS; Barr et al., 1976) en un ordenador Amdahl 470 V/6-11 del Centro Regional del Noroeste, en Gainesville, Florida.

El contenido de arcilla, capacidad de cambio catiónico (CCC), contenido en materia orgánica, índice de plasticidad y humedad óptima se determinaron en 54 muestras de suelo, cuyos resultados se resumen en la **Tabla 1**. Estos suelos contienen considerables cantidades de arcilla y presentan moderadamente baja CCC. Esto parece que se deba al tipo de mineral de arcilla presente, el cual es principalmente caolinita. Sin embargo, los contenidos en materia orgánica fueron bajos con un promedio de sólo 0,5 por ciento.

Tabla 1. Rango y media para las propiedades determinadas en los suelos seleccionados.

Variable del suelo	Rango	Media
Variables independientes (X_n)		
Contenido de arcilla, %	0.1-93.5	25.3
Capacidad de cambio catiónico, meq/100g	0.2-34.9	7.2
Contenido en materia orgáncia, %	0.1-4.5	0.5
Variables dependientes (Y_n)		
Índice de plasticidad	1.0*-116.0	16.6
Humedad óptima, %	10.2-45.6	17.8

(*) 1,0 <> No plástico

Es interesante apuntar que un modelo polinomial debe considerarse sólo como una aproximación al sistema investigado, dentro de la región experimental contemplada en el estudio (**Tabla 1**). Así, las predicciones o aplicaciones del modelo se han de hacer en lugares o suelos similares a estos donde las determinaciones se llevaron a cabo.

Las ecuaciones se formulan en base a los coeficientes de correlación simple (r) entre pares de variables (**Tabla 2**). Todas las correlaciones entre contendio de arcilla e índice de plasticidad y humedad óptima demuestran ser altamente significativas (nivel 0,1 por ciento). La CCC fue correlacionada también significativamente (nivel 0,1 por ciento) con las determinaciones geotécnicas. Sin embargo, los coeficientes de correlación entre materia orgánica e índice de plasticidad y humedad óptima fueron muy bajos en valor absoluto. La matriz de correlación (**Tabla 2**) constituye un punto de partida importante en la estimación de la contribución de las varibles X sobre las cualidades de ingeniería, así como en las interacciones posibles de segundo orden entre las variables X.

Tabla 2. Matriz de correlación entre las variables analizadas.

Coeficiente de correlación simple (r)					
Variable	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
Contenido de arcilla (X_1)		0.62**	-0.31*	0.91**	0.71**
Capacidad de cambio catiónico (X_2)			0.04	0.73**	0.62**
Materia orgánica (X_3)				-0.25	-0.13
Índice de plasticidad (Y_1)					0.77**
Humedad óptima (Y_2)					

(*) Estadísticamente significativo al nivel 5%; (**) Estadísticamente significativo al nivel 0,1%

En la **Tabla 3** se muestran los modelos de regresión polinomiales obtenidos con las muestras de suelo investigadas. En los análisis de regresión múltiple paso a paso, las ecuaciones se seleccionaron teniendo en cuenta los principales efectos de las variables X consideradas, y las interacciones más importantes de segundo y tercer orden, junto la su capacidad de abstracción y simplicidad del modelo. Las ecuaciones de regresión se

obligaron a pasar por el origen a causa de los valores R^2 que resultaron bastante más bajos cuando el término de intercepción se incluyó en los modelos.

Para el índice de plasticidad (Y_1), el coeficiente de determinación múltiple (valor R^2) muestra que esta ecuación explica el 97 por ciento de la variación observada. A su vez, el coeficiente de variación de la variable pronosticada es moderadamente bajo (CV = 26,45 por ciento), indicando que la probabilidad de error en la predicción del índice de plasticidad al aplicar esta ecuación es relativamente baja (**Tabla 3**).

Para la humedad óptima (Y_2), el valor R^2 muestra que la ecuación presentada en la **Tabla 3** explica el 85 por ciento de la variación observada. El coeficiente de variación de la variable pronosticada es moderadamente alto (CV = 43,35 por ciento).

Es interesante señalar que aunque los análisis de correlación simple mostraron que la materia orgánica no fue correlacionada significativamente con el índice de plasticidad y la humedad óptima (**Tabla 2**), los análisis de regresión múltiple mostraron que la materia orgánica tenía efectos importantes (sus interacciones con CCC o con contenido de arcilla y CCC, aunque no sus efectos principales) sobre las determinaciones de ingeniería de los suelos estudiados.

Se puede concluir que los modelos polinomiales, que se resuelven por los métodos de computación numérica, se pueden usar para estimar cualidades de ingeniería del suelo. Los análisis de regresión múltiple indicaron que el contenido de arcilla, CCC, materia orgánica y sus interacciones explicaron la mayoría de variación observada para el índice de plasticidad y la humedad óptima.

Tabla 3. Resultados de calibración de las ecuaciones polinomiales mediante análisis de regresión múltiple.

Cualidad de ingeniería	Ecuación polinomial	R^2	CV (%)
Índice de plasticidad	$Y_1 = 0.47\ X_1 - 0.20\ X_2 + 0.03\ X_1X_2 - 0.03\ X_1X_2X_3$	0.97	26.45
Humedad óptima	$Y_2 = 0.38\ X_1 + 1.14\ X_2 - 0.01\ X_1X_2 - 0.01\ X_1X_2X_3$	0.85	43.35

Y_1 = índice de plasticidad; Y_2 = humedad óptima; X_1 = contenido de arcilla; X_2 = capacidad de cambio catiónico; y X_3 = contenido de materia orgánica

2.3. Definición de clases

A efectos interpretativos y de acuerdo con las referencias consultadas, se muestra en la **Tabla 4** la clasificación del índice de plasticidad y los rangos de humedad óptima para intervalos desde "muy bajos" a "muy altos".

Tabla 4. Clasificación del índice de plasticidad y humedad óptima.

Clasificación	Índice de plasticidad	Humedad óptima/ manejabilidad, %
Clase 1. Muy baja	< 6	< 5
Clase 2. Baja	6 – 10	5 - 10
Clase 3. Moderada	10 – 25	10 - 20
Clase 4. Alta	25 – 50	20 - 30
Clase 5. Muy alta	50 – 100	> 30
Clase 6. Extremadamente alta	> 100	

2.4. Análisis de validación

Las ecuaciones del modelo ***Aljarafe*** se han aplicado a diversos suelos y condiciones climáticas a nivel mundial (ejemplo, Ohtsubo et al., 1984). Los resultados de este test de validación para las condiciones Mediterráneas mostraron una buena concordancia entre los valores pronosticados y aquellos medidos en laboratorio para el índice de plasticidad y la humedad óptima (De la Rosa et al., 1983).

3. Aplicación del modelo: Manual de usuario

Para poder utilizar el modelo ***Aljarafe*****,** previamente desarrollado, en aplicaciones prácticas y de una forma automática, se desarrolló el software necesario. La integración de estos nuevos elementos con los desarrollos previos del sistema **MicroLEIS**, tales como bases de datos, SIG, modelos predictivos, herramientas de optimización, facilita el diseño y la implementación de sistemas de apoyo a la decisión en el uso sostenible de los suelos.

Para ello, el modelo de evaluación del suelo ***Aljarafe*** se expresó en formas de notación que entiende el ordenador, produciendo algoritmos que son conocidos como programas informáticos. El lenguaje de ordenador que se usó básicamente para desarrollar la programación fue C++ Builder (BORLAND, Versión 5, 2000) para Windows MS. Además, estos programas de ordenador se desarrollaron en tres versiones diferentes: para plataformas PC , para servidores Web y como herramientas SIG.

3.1. Versión PC y SDBm

Esta versión incluye una interfaz de fácil manejo para permitir que los programas de ordenador (modelos) fuesen fácilmente aplicados desde plataformas PC. Este software de interfaz de usuario tiene dos opciones principales: i) aplicación individual del modelo; y ii) aplicación en serie mediante la conexión con la base de datos SDBmPlus de **MicroLEIS**. En ambos casos, la aplicación de los modelos se puede referir a horizontes simples o a una sección de control definida previamente dentro de los perfiles vertoicales del suelo.

Este software de instalación previa se puede descargar desde la sección *"Software"* de la página Web de **MicroLEIS .**

La instalación del software junto con las diferentes opciones de ejecución, a partir de la pantalla principal, se explican a continuación sobre la pantalla correspondiente.

3.1.1. Instalación

Para instalar el modelo ***Aljarafe*** sobre una plataforma PC, se necesita WINDOWS 95 o sistemas operativos posteriores y al menos 8 Mb de memoria RAM y 5 Mb libres en el disco duro.

A partir de ahí, se ejecuta el programa de instalación y se siguen las instrucciones de instalación.

3.1.2. Modo individual

Seleccionando la opción <individual> se abrirá la pantalla correspondiente (**Figura 1**) donde se pueden introducir los datos de entrada requeridos por el modelo. Simplemente, se introduce un valor numérico válido (dentro del rango de calibración del modelo).

Figura 1. Pantalla de entrada de datos en modo individual del modelo ***Aljarafe***.

El código o nombre de la unidad suelo se demanda previamente a iniciar el proceso de la evaluación.

A continuación y presionando el botón <ejecución> el modelo se aplicará automáticamente y una ventana aparecerá con la salida de los resultados de dicha evaluación (**Figura 2**).

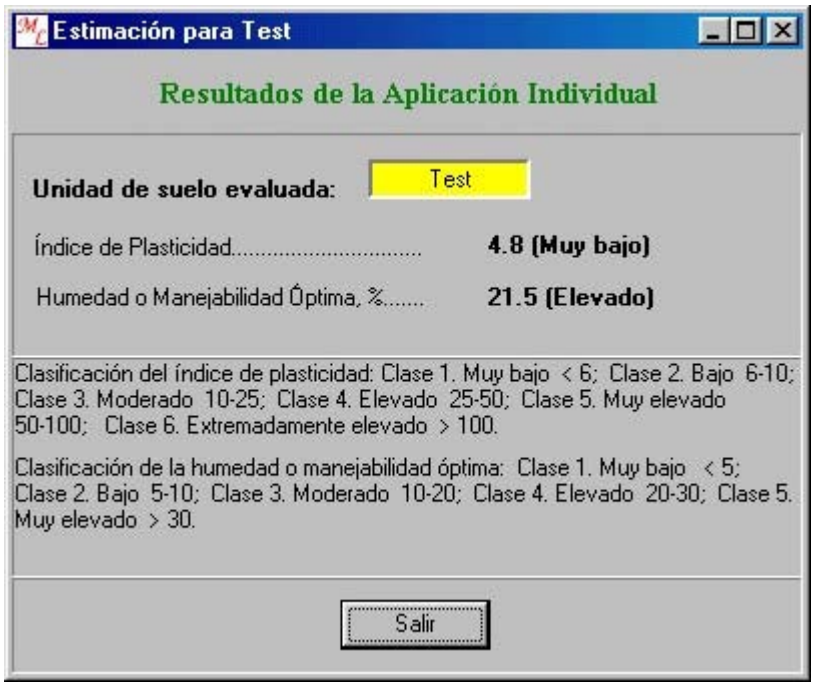

Figura 2. Pantalla con los resultados de la aplicación del modelo ***Aljarafe***.

3.1.3. Conexión a SDBmPlus

Si la base de datos de suelos SDBm Plus se encuentra instalada en el sistema, esta opción permite al usuario aplicar el modelo sobre un conjunto de registros (perfiles de suelos) previamente almacenados.

A partir de una caja de diálogo (**Figura 3**), el usuario puede seleccionar una serie de registros, el tipo de archivo de salida (ASCII o dBase) y la sección de control donde el modelo será aplicado. Después de pulsar el botón 'Cálculo', una caja diálogo aparecerá indicando al usuario que asigne un nombre de archivo en donde se guardarán los resultados de salida.

Conexión SDBm Plus
Conexión SDBm Plus
Lista de perfiles
Tipo de archivo
Codigo
Latitud
Longitud
Localización
SE0601 N370950 W0060405 T.M. de Puebla del Río. Finca La Mejorada
SE0602 N370950 W0060415 T.M. de Puebla del Río. Finca La Mejorada
SE0701 N370250 W0052625 T.M. de Morón de la Frontera
SECDR1 N371710 W0060302 T.M. de Coria del Río. Finca "La Hampa". Km 13...
SECDR2 N371705 W0060510 T.M. de Coria del Río. Finca "La Hampa". Km 13...
SIDAS1 N371659 W0060403 T.M. de Coria del Río. Finca "La Hampa". Km 13...
SIDAS2 N371658 W0060403 T.M. de Coria del Río. Finca "La Hampa". Km 13...
SIDAS3 N371658 W0060406 T.M. de Coria del Río. Finca "La Hampa". Km 13...
SIDAS4 N371652 W0060357 T.M. de Coria del Río. Finca "La Hampa". Km 13...
ASCII
dBase
Sección de control
Superior
Inferior
Estimar
Salir

Figura 3. Pantalla de selección de perfiles en SDBm Plus para aplicar el modelo ***Aljarafe***.

3.1.4. Cambio de idioma

Como en todos los módulos de **MicroLEIS**, el modelo ***Aljarafe*** permite al usuario trabajar en diferentes idiomas. Las versiones en Inglés y en Español se definieron por defecto, aunque el *software* se puede traducir a otros lenguas.

El idioma de inicio es Inglés, y se selecciona un idioma diferente a partir de la pantalla principal del programa.

3.1.5. Ayuda

Esta opción incluye el presente documento sobre el modelo ***Aljarafe*** en formato HTML.

3.2 Aplicación basada en la Web

El programa de ordenador ***Aljarafe*** se puso en aplicación práctica en Internet a través del servidor WWW MicroLEIS, con lo que el usuario puede aplicar este modelo, vía navegador Web. Esta aplicación WWW ofrece al usuario varias ventajas, tales como su mayor difusión o la revisión única del software instalado en el servidor. Esta aplicación, aunque sólo para suelos individuales, se puede utilizar directamente a partir de la sección "Aplicación"de la Web **MicroLEIS** (**Figuras 4** y **5**).

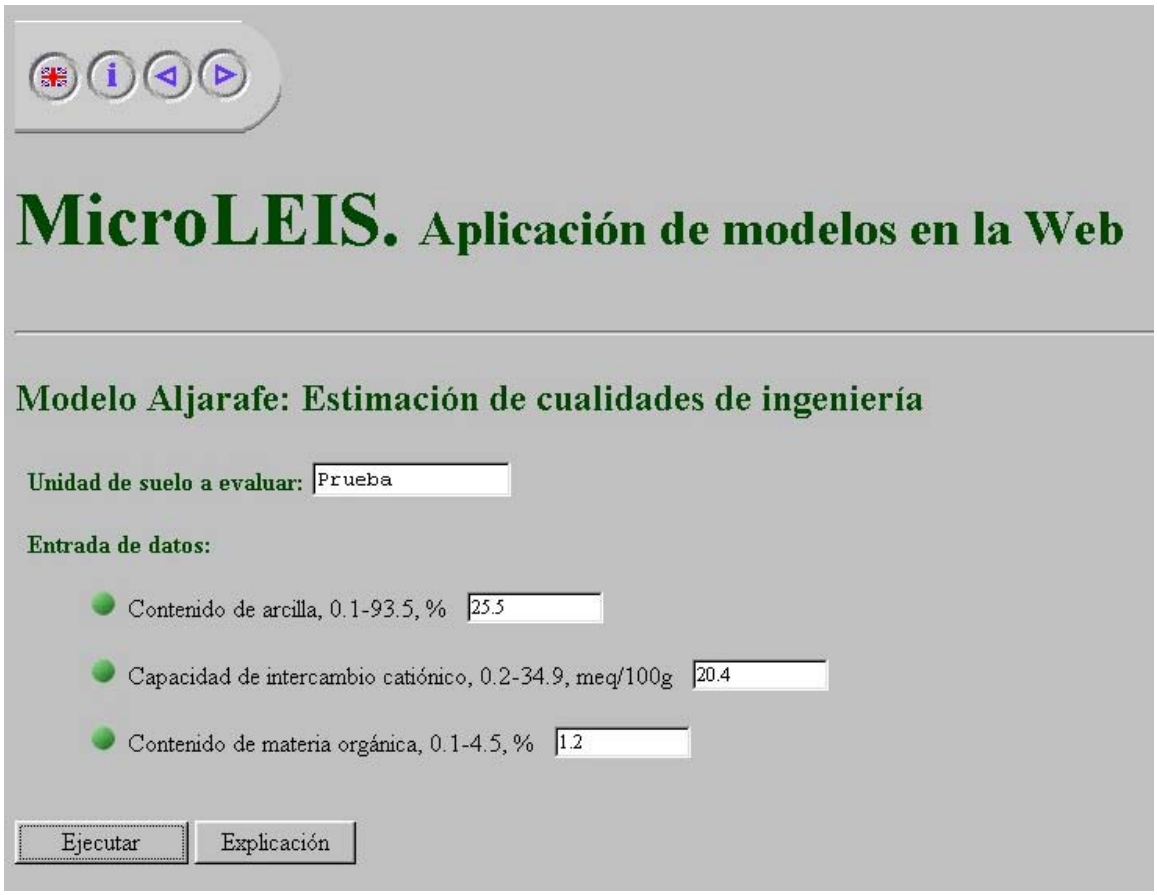
MicroLEIS. Aplicación de modelos en la Web
Modelo Aljarafe: Estimación de cualidades de ingeniería
Unidad de suelo a evaluar: Prueba
Entrada de datos:
Contenido de arcilla, 0.1-93.5, % 25.5
Capacidad de intercambio catiónico, 0.2-34.9, meq/100g 20.4
Contenido de materia orgánica, 0.1-4.5, % 1.2
Ejecutar
Explicación

Figura 4. Pantalla para la aplicación del modelo ***Aljarafe*** desde la Web (Entrada de datos).

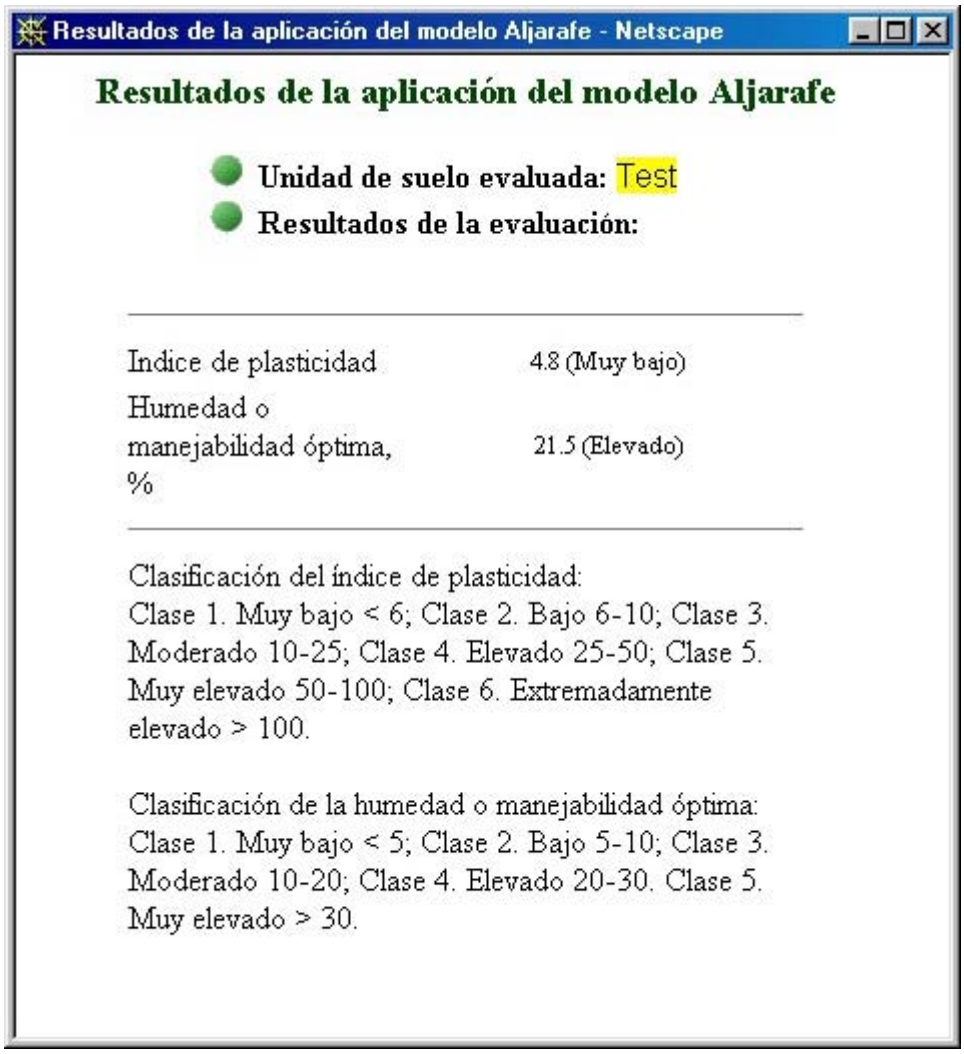

Figura 5. Pantalla para la aplicación del modelo ***Aljarafe*** en la Web (Resultados de salida).

3.3. Espacialización basada en SIG

Las herramientas SIG, disponibles comercialmente, se pueden usar para visualizar los resultados del modelo y los datos de entrada en mapas, o para extraer información básica a partir de mapas originales y de la base de datos SDBm Plus. En el caso de la aplicación del SIG ArcView, este enlace interactivo entre bases de datos de atributos y bases geográficas y modelos de evaluación en MicroLEIS se ha desarrollado en lenguaje Avenue. Algunos ejemplos de este desarrollo se puede descargar desde la sección "Espacialización" de la Web **MicroLEIS** , así como la documentación explicativa.

Bibliografía

AASHO, 1961. Standard specifications for highway materials and methods of sampling and testing. American Association of State Highway Officials, Ed. 8, 2v.

Bhushan L.S. and Ghildyal B.P. 1972. Influence of radius of curvature of mouldboardon soil structure. Indian J. Agric. Sci. 42, 1-5.

Barr A.J. et al., 1976. SAS 76. Statistical analysis systems. SAS Inst. Raleigh, NC.

Calhoun F.G. et al., 1974. Characterization data for selected Florida soils. Univ. Of Florida, Soil Sci. Dep. Rep. No. 74-1. Gainesville, Fla.

Cochran W.G. and Cox G.M., 1962. Experimental designs. Wiley, New York, N.Y.

De la Rosa D., 1979. Relation of several pedological characteristics to engineering qualities of soil. Journal of Soil Science 30, 793-799.

De la Rosa D., Ruiz J. and Perez J.L. 1983. Soil properties and geotechnical characteristics of urban area soils in Sevilla. Agrochimica 27, 173-184.

Dexter A.R. and Bird N.R.A. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. Soil & Tillage Research 57, 203-212.

Dixon, W.J. (Ed.), 1975. BMDP: Biomedical computer programs. Univ. California Press, Los Angeles, CA.

Felt E.J., 1950. Soil series name as a basis for interpretative soil classification for engineering purposes. Am. Soc. Test. Mat. Spec. Pub. No. 113, 62-79.

Mueller L., Schindler U., Fausey N. and Rattan L. 2003. Comparison of methods for estimating maximum soil water content for optimum workability. Soil & Tillage Research 72, 9-20.

Ohtsubo M., Takayama M. and Egashira K. 1984. Relationships of consistency limits and activity to some physical and chemical properties of Ariake marine clays. Soils and Foundations Journal 24, 137-138.

Rounsevell M. and Jones R. 1993. A soil and agroclimatic model for estimating machinery workdays: the basic model and climatic sensitivity. Soil Tillage & Research 26, 179-191.

USDA, 1972. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Conservation Service, USDA Soil Survey Investigation Report No.1. Washington, DC.

USDA, 1975. Soil Taxonomy: A basic system for making and interpreting soil surveys. Soil Cons. Serv. Hb. 436. Washington, DC.

USDD, 1968. Unified soil classification system for roads, airfields, embankments and foundations. MILSTD-619D.

Wagner L.E., Ambe N.M. and Barnes P. 1992. Tillage-induced soil aggregate status as influenced by water content. Trans. ASAE 35, 499-504.

Yong R.N. and Warkentin B.P., 1966. Introduction to soil behavior. MacM. Co., New York, NY.